

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

### SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING THEORY

УДК 004.4:519.2

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.01

*Л. С. СМІДОВИЧ*

#### ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОСЛУГ VOIP

Метою дослідження є автоматизація виявлення ознак технічних несправностей та погіршення якості послуг в мережі віртуального оператора VoIP. Погіршення якості призводить до зменшення обсягу наданих послуг, а відповідно прибутку, до зменшення лояльності абонентів та втрати частки ринку. Виділено три рівня погіршення якості в мережах VoIP: відсутність доступу на рівні мережі передачі даних (МПД), неможливість встановлення голосового з'єднання, тобто відсутність доступу на рівні прикладних сервісів, та погіршення якості сервісу. Проведено аналіз абсолютних та відносних статистичних показників якості IP-телефонії у відповідності до вимог міжнародних стандартів ITU-T, перелічені головні показники та наведено формули для їх розрахунку. Значення статистичних показників якості періодично розраховуються для зовнішніх каналів, груп абонентів та тарифних напрямків. Первинними даними виступають записи CDR (call data records). Для виявлення аномальних змін значень показників якості запропоновано використати методу експоненційного згладжування – адитивну модель Холта-Вінтерса. Розраховується відхилення поточного значення показників якості від прогнозованого. Діапазон довіри розраховується по методу Брутлага. Якщо відхилення виходить за межі діапазону довіри, зміна значення показника вважається аномальною, та встановлюється значення коефіцієнту аномалії даного показника. Період характеризується вектором коефіцієнтів аномалії всіх показників якості. Для класифікації періоду як аномального використовується значення модулю вектору коефіцієнтів аномалії у даному періоді. Також розглянуто особливості застосування методу, зокрема вибір періоду сезону та розрахунок коефіцієнтів аномалії в періоди мінімальної навантаження. Метод, який запропоновано, дозволяє діагностувати аномальну зміну значень показників якості послуг VoIP в автоматизованому режимі. На його основі розроблено прототип автоматизованої системи моніторингу якості послуг VoIP.

**Ключові слова:** послуги VoIP, статистична обробка трафіку, CDR, метрики якості послуг, ASR, ACD, аномалії трафіку, експоненційне згладжування, алгоритм Холта-Вінтерса.

*Л. С. СМІДОВИЧ*

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УСЛУГ VOIP

Целью исследования является автоматизация обнаружения признаков технических неисправностей и ухудшения качества услуг в сети виртуального оператора VoIP. Ухудшение качества приводит к уменьшению объема предоставляемых услуг, а соответственно прибыли, к уменьшению лояльности абонентов и потери доли на рынке. Выделены три уровня ухудшения качества в сетях VoIP: отсутствие доступа на уровне сети передачи данных (СПД), невозможность установления голосового соединения, то есть отсутствие доступа на уровне прикладных сервисов, и ухудшение качества сервиса. Проведен анализ абсолютных и относительных статистических показателей качества IP-телефонии в соответствии с требованиями международных стандартов ITU-T, перечислены основные метрики и приведены формулы для их расчета. Значение статистических показателей качества периодически рассчитываются для внешних каналов, групп абонентов и тарифных направлений. Первичными данными выступают записи CDR (call data records). Для выявления аномальных изменений значений показателей качества предложено использовать метода экспоненциального сглаживания – аддитивную модель Холта-Винтерса. Рассчитывается отклонение текущего значения показателей качества от прогнозируемого. Диапазон доверия рассчитывается по методу Брутлага. Если отклонение выходит за пределы диапазона доверия, изменение значения показателя считается аномальным, и устанавливается значение коэффициента аномалии этого показателя. Период характеризуется вектором коэффициентов аномалии всех показателей качества. Для классификации периода как аномального используется значение модуля вектора коэффициентов аномалии. Также рассмотрены особенности применения метода, в частности выбор периода сезона и расчет коэффициентов аномалии в периоды минимальной нагрузки. Предложенный метод позволяет диагностировать аномальное изменение значений показателей качества услуг VoIP в автоматизированном режиме. На его основе разработаны прототип автоматизированной системы мониторинга качества услуг VoIP.

**Ключевые слова:** услуги VoIP, статистическая обработка трафика, CDR, метрики качества услуг, ASR, ACD, аномалии трафика, экспоненциальное сглаживание, алгоритм Холта-Винтерса.

*L. S. SMIDOVYCH*

#### USE OF THE STATISTICAL ANALYSIS METHODS TO DETECT VOIP NETWORK TRAFFIC ANOMALIES

The purpose of the study is to automate detection of signs of technical malfunction and deterioration in the quality of services in the VoIP network. Deterioration of quality leads to a decrease in the volume of services provided, and consequently a profit, a decrease in customer loyalty and loss of market share. There are three levels of quality degradation in VoIP networks: lack of access at the data network layer, inability to establish a voice

© Л. С. Смідович, 2020

connection and lack of access at the level of application services, and degradation of service quality. The analysis of absolute and relative statistical quality indicators of IP-telephony in accordance with the requirements of the international ITU-T standards has been performed, and main indicators and formulas for their calculation are listed. The values of statistical quality indicators are periodically calculated for external channels, subscriber groups and tariff directions. The primary data is CDR (call data records). To detect anomalous changes in the values of the quality indicators it is proposed to use the exponential smoothing method – the Holt-Winters additive model. The deviation of the current value of the quality indicators from the forecasted one is calculated. The confidence range is calculated using the Brutlag method. If the deviation goes beyond the confidence range, the change in the value of the indicator is considered anomalous and the value of the anomaly coefficient of the indicator is set. The period is characterized by a vector of anomaly coefficients of all quality indicators. To classify the period as anomalous, the value of the module of the anomaly coefficients vector of the given period is used. The features of the method application are also considered, in particular the choice of the seasonal period and the calculation of anomaly coefficients during periods of minimum load. The proposed method allows to diagnose an abnormal change in the values of VoIP service quality indicators in automated mode. The prototype of an automated system for the quality of VoIP service monitoring was developed on the base of the method described.

**Keywords:** VoIP services, statistical traffic processing, CDR, service quality metrics, ASR, ACD, traffic anomalies, exponential smoothing, Holt-Winters algorithm.

**Вступ.** Метою дослідження є виявлення ознак технічних несправностей та погіршення якості послуг в мережі віртуального оператора IP-телефонії. IP-телефонія (VoIP) – це передача голосового трафіку по мережах передачі даних (МПД). Зараз послуги VoIP найчастіше надаються із використання сигнального протоколу SIP [1]. Послуги IP-телефонії можуть надавати як традиційні оператори зв'язку, так і віртуальні (OTT – Over-The-Top) оператори.

Важливою задачею оператора VoIP є забезпечення якості послуг [2]. Погіршення якості в короткостроковій перспективі призводить до зменшення обсягу наданих послуг, а відповідно і прибутку, а в довгостроковій – до зменшення лояльності абонентів та втрати оператором частки ринку. Важливим є своєчасне встановлення факту погіршення якості та діагностика, що вирішується застосуванням інформаційних систем моніторингу якості.

Особливістю віртуального оператора є те, що він не має власної мережі доступу, абоненти і оператори-партнери підключаються через загальнодоступні мережі (Інтернет). Основою технічної інфраструктури віртуального оператора VoIP є один або кілька комутаторів – софтверів. Софтвер (Softswitch) – це програмний комутатор, який управляє обслуговуванням викликів і координує обмін сигнальними повідомленнями між мережами абонентів і операторів-партнерів. У віртуального оператора, як правило, відсутня можливість наскрізного моніторингу технічних характеристик каналів зв'язку і їх прямого тестування, тому актуальним завданням є розробка альтернативних методів моніторингу якості послуг.

**Аналіз об'єкту дослідження та публікацій.** Можна виділити кілька рівнів погіршення якості в мережах VoIP:

- відсутність доступу на рівні МПД (мережі передачі даних);
- неможливість встановлення голосового з'єднання;
- погіршення якості сервісу.

Причинами відсутності доступу абонентів до мережі провайдеру VoIP, або доступу провайдеру до мереж партнерів, і як наслідок – неможливості встановити з'єднання, є несправності на рівні транспортної мережі. В цьому випадку відсутні записи про успішні або неуспішні виклики для окремого абонента, оскільки виклик не поступає на софтвер; або

спроби встановити з'єднання з обладнанням партнера завершуються помилками певного виду.

Неможливість встановлення голосового з'єднання (виклику) може бути викликана як неузгодженістю на рівні використовуваних протоколів і кодеків, помилками в конфігурації обладнання, помилками при наборі номера, так і природними причинами – наприклад зайнятістю або недоступністю (поза мережею) терміналу абонента. До технічних несправностей другого рівня можна також віднести неможливість встановлення з'єднання за деякими маршрутами: через певного партнера, або за певними тарифними напрямками. Основними їх ознаками є низька частка успішних дзвінків, або їх відсутність, а також специфічні коди завершення SIP-сесії (наприклад, помилки сервера, відсутність маршруту, скидання з'єднання та ін.).

Під погіршенням якості сервісу будемо розуміти ситуацію, коли з'єднання з абонентом встановлюється, але якість передачі голосу не задовольняє абонента.

Для «класичної» проводної телефонії використовуються методи оцінки якості, засновані на вимірі електротехнічних характеристик каналу зв'язку, таких як залишкове загасання, АЧХ (амплітудно-частотні характеристики), співвідношення сигнал/шум та ін. Для мереж VoIP в якості технічних характеристик використовують метрики продуктивності мережі передачі даних (МПД): втрати, затримку та її варіацію (джитер, jitter) [3, 4].

Одними з основних показників якості IP-телефонії є якість передачі голосового сигналу, а так само якість встановлення виклику. Технічні метрики не завжди є інформативними з точки зору оцінки якості послуги IP-телефонії, оскільки абонент оцінює якість інтегрально, тому використовуються так звані суб'єктивні або інтегральні оцінки [4, 5]. Одним з інтегральних показників є MOS (Mean Opinion Score – суб'єктивна оцінка якості) [стандарт ITU-T P.800] або PSQM [стандарт ITU-T P.861]. Існують методики розрахунку MOS на підставі значень метрик продуктивності СПД, наприклад алгоритми PESQ. Інший часто використовуваний інтегральний показник якості – R-фактор (Overall transmission quality rating) [5]. Для вимірювання і моніторингу вищезазначених показників якості потрібне використання комутаторів з відповідним функціоналом, або додаткового вимірювального обладнання та/або програмного забезпечення.

Альтернативним підходом до вимірювання якості послуг VoIP є використання статистичних метрик трафіку, які, зокрема, визначені в рекомендаціях ITU-T E.437 [6] та ITU-T E.411 [7]. Саме такий підхід будемо використовувати для виявлення ознак технічних несправностей та погіршення якості послуг VoIP.

Для моніторингу стану складних комунікаційних систем, зокрема IP мереж передачі даних [8, 9], технічних систем та транспортних мереж [10], успішно використовуються методи аналізу динаміки часових рядів.

**Метрики якості послуг VoIP.** Абсолютними метриками є кількість успішних з'єднань та сумарна тривалість викликів за одиницю часу. Вони дозволяють оцінити навантаження на мережу та її пропускну спроможність. З іншого боку, ці показники залежать від активності абонентів в той чи інший період часу, тому в явному вигляді не можуть використатися як метрики якості послуг. О погіршенні якості може свідчити їх аномальна зміна.

Рекомендація ITU-T E.437 [6] визначає відносні метрики якості, які перелічені нижче.

Answer Seizure Ratio (ASR) – частка успішних дзвінків:

$$ASR = \frac{N_a}{N_c}, \quad (1)$$

де  $N_a$  – кількість успішних з'єднань;

$N_c$  – сумарна кількість викликів.

Post gateway answer delay (PGAD) – це затримка між надходженням виклику на комутатор і відповіддю абонента (або завершенням з'єднання в разі неуспішного дзвінка). Вона дозволяє оцінити (порівняти) якість встановлення з'єднання на різних зовнішніх каналах. Ця метрика зазвичай присутня в даних CDR.

Average length of conversation (ALOC) або Average Call Duration (ACD) – середня тривалість дзвінків. Вона може відрізнятися для різних абонентських сценаріїв, але її зменшення може свідчити про погіршення якості передачі голосу.

$$ACD = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N_a}, \quad (2)$$

де  $N_a$  – кількість успішних з'єднань;

$T_i$  – тривалість кожного з'єднання.

Рекомендація ITU-T E.411 [7] вводить метрику Network Efficiency Ratio (NER), яка дозволяє оцінити якість каналу без урахування впливу поведінки абонентів – успішними вважаються виклики, які досягли абонента, навіть якщо він не відповів, чи скинув дзвінок, або номер зайнятий. Причина завершення виклику встановлюється відповідно коду завершення SIP діалогу [11].

$$NER = \frac{N_a + N_{na} + N_b + N_r}{N_c}, \quad (3)$$

де  $N_a$  – кількість успішних з'єднань;

$N_{na}$  – кількість викликів, коли абонент не відповів (коди SIP 406, 408);

$N_b$  – кількість викликів, коли номер зайнятий (код SIP 486);

$N_r$  – кількість викликів, коли абонент відмінив виклик (код SIP 487);

$N_c$  – сумарна кількість викликів.

Додатково можуть розраховуватись і значення інших показників, наприклад доля викликів, які завершилися із помилками маршрутизації або іншими помилками на боці оператора-партнера, середня тривалість встановлення з'єднання (PDD, Post Dial Delay) та ін.

Значення показників якості динамічно змінюються з часом та утворюють часовий ряд. Суттєві відхилення значень метрик якості, або зміна в поведінці часових рядів може бути ознакою зміни якості сервісу VoIP. Таким чином, для моніторингу якості послуг VoIP може виконуватись пошук аномалій в значеннях відповідних показників.

**Завданням дослідження** є розробка методу та інструментів автоматичного виявлення погіршення якості послуг VoIP [12]. Автоматизація моніторингу потребує вирішення таких задач:

- збір та накопичення даних трафіку VoIP;
- розрахунок базових статистичних показників, які є абсолютними та відносними метриками якості;
- аналіз динаміки зміни значень метрик якості та виявлення їх аномалій, які можуть служити ознакою погіршення якості сервісу;
- прийняття рішення про класифікацію періоду як аномального за сукупністю значень.

**Збір вхідних даних.** Вхідними даними для аналізу є записи CDR (call data records) про успішні і не успішні виклики, що надходять з комунікаційного обладнання і містять інформацію про дату і час виклику, номер або SIP-адресу абонентів, тривалості встановлення з'єднання і самого з'єднання, коди завершення протоколу SIP, ідентифікатори зовнішніх каналів (транків), по яким було відправлено виклик тощо. В залежності від типу використовуваного комунікаційного обладнання, CDR може містити і інші дані, наприклад значення метрик якості каналу, таких як втрати, затримка і її варіація – джитер, або навіть інтегральну оцінку якості MOS.

Після завершення кожного виклику софтверний дописує відповідну запис в файл. Ці файли періодично обробляються програмним забезпеченням системи моніторингу та окремі записи зберігаються в базі даних.

**Первинний статистичний аналіз** даних CDR полягає в розрахунку значень показників трафіку, які можуть служити метриками для оцінки та порівняння якості послуги, що надається абонентам, або якості зовнішніх каналів. Дані показники розраховуються періодично, за рівні періоди часу.

Важливим питанням є вибір періоду агрегації, тобто періоду часу, за який розраховується значення показників якості. З одного боку, для оперативного виявлення погіршення якості показники мають

перераховуватись досить швидко (наприклад, кожні 5–10 хвилин). З іншого боку, запис CDR формується після закінчення дзвінка. У періоди низького навантаження вплив довгих (тривалість яких перевищує період розрахунку, тобто більше 15-20 хвилин) дзвінків на значення метрик якості може бути надто високим, що призводить до значних коливань їх значень, і відповідно до збільшення кількості помилкових позитивних результатів. Тому період агрегації має перевищувати типову тривалість довгих дзвінків.

Пропонується встановити інтервал розрахунку значення показників якості рівним 5 або 10 хвилин, при цьому період агрегації встановити на рівні 1 години. Розрахунок виконується в розрізі абонентів (груп абонентів), зовнішніх каналів і тарифних напрямків.

Таким чином, кожний розрахунковий інтервал  $t$  характеризується вектором поточних значень показників якості.

$$\mathbf{Q}_t = \langle q_t^1, q_t^2, \dots, q_t^N \rangle, \quad (4)$$

де  $q_t^i$  – значення  $i$ -го показника у інтервалі  $t$ .

Розраховані значення зберігаються в базі даних, є можливість їх графічного відображення – приклад наведено на рис. 1.

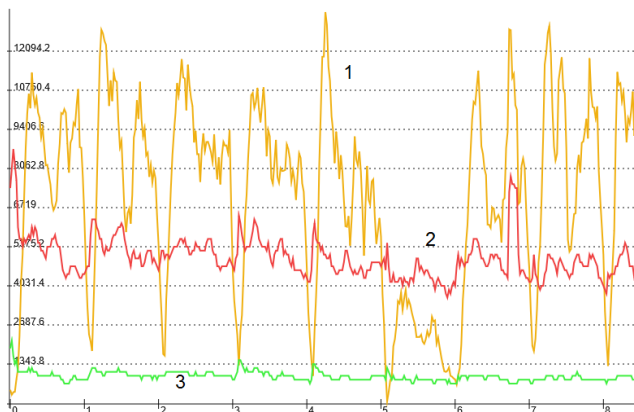


Рис. 1. Графіки (1) сумарної тривалості викликів, (2) ASR та (3) середньої тривалості встановлення з'єднання

На рис. 1 зображені графіки наступних показників: сумарної тривалості викликів, ASR та середньої тривалості встановлення з'єднання. Можна помітити, що суттєва зміна значення абсолютного показника – сумарної тривалості викликів – не призводить до помітної зміни значень відносного показника – ASR. У даному випадку зниження обсягу трафіку пов'язано із зниженням активності абонентів, а не із погіршенням якості послуг.

**Статистичний аналіз динаміки** показників якості дозволяє виявляти зміни в характеристиках трафіку або характеристиках зовнішніх каналів, які можуть служити ознаками зміни (погіршення) якості послуг.

Очевидним способом виявлення аномалій є контроль виходу значень показників за заздалегідь визначені мінімальні та/або максимальні ліміти. Наприклад, зазвичай в міжоператорських договорах встановлюються граничні значення таких метрик якості, як ASR. Але, оскільки значення показників якості залежать,

зокрема, від активності абонентів, такий підхід веде до значної кількості помилкових позитивних результатів і не може вважатися достовірним.

Альтернативою є застосування методів диференціального аналізу, який полягає у виявленні змін в поведінці часових рядів. Для цього пропонується використати методів експоненційного згладжування часового ряду, зокрема методу Хольта–Вінтерса. Особливістю цього методу є те, що він дозволяє врахувати сезону компоненту часового ряду.

Застосування адитивної моделі Хольта–Вінтерса для виявлення аномалій в динаміці показників якості послуг VoIP полягає в розрахунку відхилення поточного значення показника від розрахункового, останнє обчислюється як прогноз по попереднім значенням часового ряду, який відповідає показнику якості.

$$\delta_{t+1} = |\tilde{Y}_{t+1} - Y_{t+1}|, \quad (5)$$

$$Y_{t+1} = a_{t+1} + b_{t+1} + c_{t-T+1}, \quad (6)$$

$$a_{t+1} = \alpha(Y_t - c_{t-T}) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}), \quad (7)$$

$$b_{t+1} = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, \quad (8)$$

$$c_{t+1} = \gamma(Y_t - a_t) + (1 - \gamma)c_{t-T}, \quad (9)$$

де  $\delta$  – відхилення значення показника;  
 $Y_{t+1}$  – розрахункове значення показника;  
 $a_{t+1}$  – значення базової компоненти;  
 $b_{t+1}$  – значення тренду;  
 $c_{t+1}$  – значення сезонної компоненти;  
 $T$  – період сезону;  
 $\alpha, \beta, \gamma$  – коефіцієнти адаптації.

Зміна значення показника якості вважається аномальною, якщо відхилення його поточного значення від розрахункового виходить за межі діапазону довіри, тобто:

$$\delta_{t+1} > d_{t+1}. \quad (10)$$

Для розрахунку діапазону довіри використовується метод Брутлага [13], згідно якому

$$d_{t+1} = \gamma(Y_t - \tilde{Y}_t) + (1 - \gamma)d_{t-T}, \quad (11)$$

де  $d_{t+1}$  – прогнозоване значення відхилення.

На рис. 2 наведено приклад графіків поточного (1) та розрахункового (2) значення ASR, та їх відхилення (3). Вертикальні смуги відмічають інтервали, в яких відхилення виходить за межі діапазону довіри.

Якщо було діагностовано аномальну зміну показника, для даного показника встановлюється коефіцієнт аномалії, рівний кількості послідовних інтервалів, протягом яких було визначено його аномалію.

$$a_t^i = \begin{cases} a_{t-1}^i + 1, & \delta_t > d_t, \\ 0, & \delta_t \leq d_t, \end{cases} \quad (12)$$

де  $a_t^i$  – коефіцієнт аномалії  $i$ -го показника у інтервалі часу  $t$ .

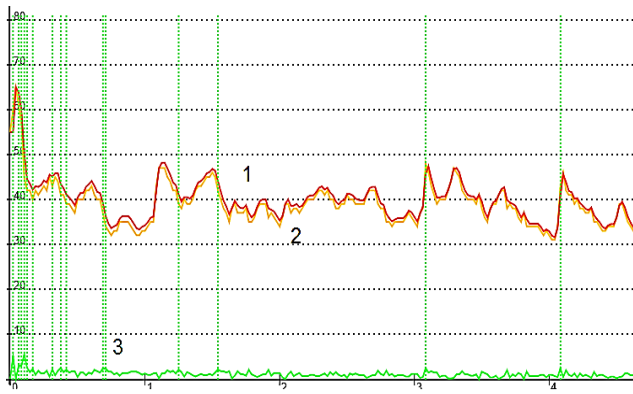


Рис. 2. Графіки поточного та розрахункового значення ASR, та їх відхилення

Таким чином, кожний інтервал часу  $T$  характеризується вектором коефіцієнтів аномалії показників якості.

$$A_t = \langle a_t^1, a_t^2, \dots, a_t^N \rangle. \quad (13)$$

Класифікація періоду як аномального виконується по значенню модуля вектору аномалії.

$$|A_t| = \sum_i a_t^i. \quad (14)$$

**Особливості застосування методу для моніторингу якості послуг VoIP.**

Трафік VoIP має виражену сезонність. Зазвичай періодом сезону є доба та/або тиждень. Протягом доби трафік збільшується у ГНН (години найбільшого навантаження) і відповідно зменшується у години найменшого навантаження. Тижневі коливання пов'язані, перш за все, з розподілом днів на робочі та вихідні.

Для розрахунку прогнозу та відхилення значення показника (4-9), крім попередніх значень показника, необхідне його значення за минулий сезон. Таким чином, для розрахунків необхідно зберігати  $T$  останніх значень показника, де  $T$  – період сезону. Якщо інтервал розрахунку дорівнює 10 хвилинам, добовий сезон містить  $6 \cdot 24 = 144$  інтервалів, а тижневий –  $144 \cdot 7 = 1008$  інтервалів.

Пропонується в якості тривалості сезону встановити добу. Для врахування коливань навантаження та, відповідно, значень показників якості, протягом тижня часовий ряд розбивається на декілька субрядів за класифікаційною ознакою. Це також дозволяє врахувати нерегулярності навантаження, які привносяться, наприклад, святковими днями.

Під час зниженого навантаження мережі значення відносних метрик (ASR, ASD, NER тощо) можуть зазнавати значних коливань, що призводить до збільшення кількості помилкових позитивних результатів. Пропонується наступне. Якщо аномалія відносного показника зафіксована у період низького навантаження, значення коефіцієнту аномалії множиться на коригуючий коефіцієнт, менший одиниці. Обсяг навантаження оцінюється за сумарною кількістю викликів (успішних та не успішних), що виключає вплив можливого погіршення якості на оцінку.

**Висновки.** Використання розглянутого методу дозволяє в автоматичному режимі діагностувати аномальну зміну значень показників якості послуг IP-телефонії. Така зміна є вірогідною ознакою зміни (погіршення) якості послуг. Застосування методу не потребує попереднього навчання, та значних обчислювальних ресурсів. Для розрахунку достатньо  $T$  (кількість інтервалів в сезоні) попередніх значень показників якості.

З використанням підходу, який запропоновано, розроблено прототип автоматизованої системи моніторингу якості послуг VoIP, яка дозволяє виявляти як відомі несправності, так і невідомі. Але зміна значень показників якості може свідчити як про погіршення якості, так і про зміні поведінки користувачів мережі. Тому остаточне прийняття рішення потребує участі спеціалістів технічної підтримки.

Метою наступних досліджень є аналіз методів, за допомогою яких можливо провести класифікацію аномалії, вибір найбільш ефективного методу та його адаптація для автоматичного діагностування несправностей в мережах IP-телефонії.

#### Список літератури

1. RFC 3261. SIP: Session Initiation Protocol. IETF, 2002. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3261> (дата звернення 20.09.2019).
2. Заплотинський Б. А. Поліпшення якості послуг у сфері телекомунікацій на основі впровадження підходів з управління якістю. *Економіка. Менеджмент. Бізнес*. 2015. № 1. С. 30–38.
3. Сахаров А. В. Статистические модели трафика IP-телефонии: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.13.01. Нижний Новгород, Нижегород. гос. техн. ун-т, 2007. 16 с.
4. N. Ghiata, M. Marcu. Measurement methods for QoS in VoIP review. 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2011, Budapest, Hungary. 2011. P 1–6.
5. ETSI TS 102 024-2. Definition of Speech Quality of Service (QoS) Classes. ETSI, 2003. URL: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102000\\_102099/10202402/04.01.01\\_60/ts\\_10202402v040101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102000_102099/10202402/04.01.01_60/ts_10202402v040101p.pdf) (дата звернення 20.09.2019).
6. E.437: Comparative metrics for network performance management. ITU, 1999. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.437-199905-1!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.437-199905-1!!PDF-E&type=items) (дата звернення 20.09.2019).
7. E.411: International network management – Operational guidance. ITU, 2000. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.411-200003-1!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.411-200003-1!!PDF-E&type=items) (дата звернення 20.09.2019).
8. Исхаков С. Ю., Шелупанов А. А., Тимченко С. В. Прогнозирование в системе мониторинга локальных сетей. *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2012. № 1 (25), ч. 2. С. 100–103.
9. Szmit M., Adamus S., Szmit A., Bugala S. Implementation of Brutlag's algorithm in Anomaly Detection 3.0. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. 2012. P. 685–691.
10. Имильбаев Р. Р., Крымский В. Г., Юнусов А. Р. Использование интервальных временных рядов для прогнозирования состояния газораспределительной сети. *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2016. Т. 12, № 4. С. 62–72.
11. RFC 6228. Session Initiation Protocol (SIP) Response Code for Indication of Terminated Dialog. IETF, 2011. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6228> (дата звернення 20.09.2019).
12. Смилович Л. С. Обнаружение фрода и технических неисправностей в сетях VOIP. Тезисы III междунар. научно-технической конф. «Компьютерное моделирование и оптимизация сложных систем» (КМОСС-2017). Днепр, 2017. С. 228–229.
13. Brutlag J. D. Aberrant Behavior Detection in Time Series for Network Monitoring. *14th System Administration Conference*



Proceedings. New Orleans, 2000. P. 139–146. URL: [http://www.usenix.org/events/lisa00/full\\_papers/brutlag/brutlag\\_html/](http://www.usenix.org/events/lisa00/full_papers/brutlag/brutlag_html/) (дата звернення 20.09.2019).

## References (transliterated)

1. RFC 3261. SIP: Session Initiation Protocol. IETF, 2002. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc3261> (accessed 20.09.2019).
2. Zaplotyns'kyi B. A. Polipshennya yakosti posluh u sferi telekomunikatsiy na osnovi vprovadzhennya pidkhodiv z upravlinnya yakistyu [Improving the telecommunications services quality through the quality management approaches implementation.]. *Ekonomika. Menedzhment. Biznes*. [Economy. Management. Business]. 2015, no. 1, pp. 30–38.
3. Sakharov A. V. *Statisticheskie modeli trafika IP-telefonii: avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk* [Statistical models of IP-telephony traffic: abstract of Candidate of Technical Sciences thesis]. Nizhniy Novgorod, Nizhny Novgorod State technical U. Publ., 2007. 16 p.
4. Ghiata N., Marcu M. Measurement methods for QoS in VoIP review. 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2011. Budapest, Hungary, 2011, pp 1–6.
5. ETSI TS 102 024-2. Definition of Speech Quality of Service (QoS) Classes. ETSI, 2003. Available at: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102000\\_102099/10202402/04.01.01\\_60/ts\\_10202402v040101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102000_102099/10202402/04.01.01_60/ts_10202402v040101p.pdf) (accessed 20.09.2019).
6. E.437: Comparative metrics for network performance management. ITU, 1999. Available at: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.437-199905-I!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.437-199905-I!!PDF-E&type=items) (accessed 20.09.2019).
7. E.411: International network management – Operational guidance. ITU, 2000. Available at: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.411-200003-I!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.411-200003-I!!PDF-E&type=items) (accessed 20.09.2019).
8. Iskhakov S. Yu., Shelupanov A. A., Timchenko S. V. Prognozirovaniye v sisteme monitoringa lokal'nykh setey [Forecasting in a LAN monitoring system]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics]. 2012, no. 1 (25), part 2, pp. 100–103.
9. Szmit M., Adamus S., Szmit A., Bugala S. Implementation of Brutlag's algorithm in Anomaly Detection 3.0. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. 2012, pp. 685–691.
10. Imil'baev R. R., Krymskiy V. G., Yunusov A. R. Ispol'zovanie interval'nykh vremennykh ryadov dlya prognozirovaniya sostoyaniya gazoraspredeitel'noy seti [The use of interval time series to predict the gas distribution network status]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy* [Electrical and information systems]. 2016, vol. 12, no. 4, pp. 62–72.
11. RFC 6228. Session Initiation Protocol (SIP) Response Code for Indication of Terminated Dialog. IETF, 2011. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc6228> (accessed 20.09.2019).
12. Smidovych L. S. Obnaruzhenie froda i tekhnicheskikh neispravnostey v setyah VOIP [Detecting fraud and technical malfunctions in VOIP networks]. *Tezisy III mezhdunar. nauchno-tehnicheskoy konf. «Komp'yuternoe modelirovaniye i optimizatsiya slozhnykh sistem» (KMOSS-2017)* [Abstracts of III international scientific and technical conf. "Computer modeling and optimization of complex systems" (KMOSS-2017)]. Dnipro, 2017, pp. 228–229.
13. Brutlag J. D. Aberrant Behavior Detection in Time Series for Network Monitoring. *14th System Administration Conference Proceedings*. New Orleans, 2000, pp. 139–146. Available at: [http://www.usenix.org/events/lisa00/full\\_papers/brutlag/brutlag\\_html/](http://www.usenix.org/events/lisa00/full_papers/brutlag/brutlag_html/) (accessed 20.09.2019).

Надійшла (received) 05.11.2019

## Відомості про автора / Сведения об авторе / About the Author

**Смідович Леонід Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", доцент кафедри Комп'ютерних наук та інформаційних систем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6156-9506>; e-mail: [lsonlinels@gmail.com](mailto:lsonlinels@gmail.com)

**Смидович Леонид Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", доцент кафедры Компьютерных наук и информационных систем; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6156-9506>; e-mail: [lsonlinels@gmail.com](mailto:lsonlinels@gmail.com)

**Smidovych Leonid Serhiyovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Aerospace University named after N. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Computer Science and Information Systems; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6156-9506>; e-mail: [lsonlinels@gmail.com](mailto:lsonlinels@gmail.com)